

SIMULASI DAN ANALISIS METODE DISKRIMINAN UNTUK PROSES SPECTRUM SENSING PADA SISTEM COGNITIVE RADIO

SIMULATION AND ANALYSIS OF DISCRIMINANT METHOD FOR SPECTRUM SENSING PROCESS IN COGNITIVE RADIO SYSTEM

Risa Marina Sihite¹, Heroe Wijanto², Jondri³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹risasihite@gmail.com, ²hwijanto@yahoo.co.id, ³jdn@stttelkom.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menganalisis tentang metode diskriminan untuk proses *spectrum sensing* pada sistem *cognitive radio*. Metode diskriminan yang dipakai adalah *Fischer Quadratic Discriminant* dan diuji pada SNR 0dB, -3dB, -10dB dan -20dB. Analisis lain dilakukan terhadap pemilihan *user-defined values* dan *divider* diskriminan untuk memberikan batasan yang jelas antara sinyal dan *noise*. Disamping itu teknik *curve fitting Weighted Least Square* juga turut diujikan pada penelitian ini. Simulasi sistem dilakukan dengan *software* Matlab R2009a. Hasil dari simulasi ini berupa grafik probabilitas misklasifikasi tiap SNR terhadap nilai *divider* diskriminan yang digunakan serta grafik pengujian *user-defined values* saat proses *regrouping*.

Kata kunci: *Cognitive Radio*, *Spectrum Sensing*, *Fischer Discriminant*, *Weighted Least Square*

Abstract

This research analyzed about discriminant method for spectrum sensing process in cognitive radio system. Fischer Quadratic discriminant is applied to the discriminant method and tested in certain SNR that are 0dB, -3dB, -10dB, and -20dB. The other analysis is about the selection rules of user-defined values and discriminant divider to visualize the boundary between signal and noise. Besides, Weighted Least Square as a curve fitting technique is also carried out in the process. The software of this simulation is Matlab R2009a. As the results, the simulation demonstrated the misclassification probability graphic of each SNR responding to the use of each divider discriminant value as well as the testing graphic of user-defined values in regrouping process.

Keywords: *Cognitive Radio*, *Spectrum Sensing*, *Fischer Discriminant*, *Weighted Least Square*.

1. Pendahuluan

Peningkatan *trend* komunikasi *wireless* terutama untuk akses data dan multimedia harus sejalan dengan penyediaan sistem yang handal dan kapasitas yang maksimal. Salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah dengan memperhatikan ketersediaan *bandwidth* yang tentunya berkaitan dengan alokasi spektrum frekuensi yang digunakan sebagai sarana transmisi data. Pemerintah menyediakan untuk pihak-pihak tertentu saja yang mendaftarkan dirinya sebagai pengguna resmi spektrum frekuensi tersebut yaitu *Primary User* (PU) dengan pemakaian spektrum kurang efisien karena PU tidak setiap saat mendudukinya tetapi spektrum tersebut tidak dapat digunakan oleh pihak lain karena telah dialokasikan khusus untuk PU. Saat bersamaan ada pihak lain yang tidak memiliki hak akses legal (*Secondary User/SU*) ingin menggunakan spektrum tersebut maka SU ini tidak akan bisa mengakses spektrum tersebut meskipun dalam keadaan tidak digunakan PU.

Sebagai solusi dari permasalahan diatas, dirancang sebuah teknologi yang mampu menunjang kebutuhan *provider* untuk menyediakan sistem dengan kapasitas transmisi semaksimal mungkin seiring jumlah trafik yang terus meningkat, dengan kualitas sinyal penerimaan di sisi pelanggan juga memuaskan sehingga keinginan pelanggan untuk mengakses data dengan kecepatan tinggi terpenuhi. Untuk itu, dikembangkan teknologi *cognitive radio* yang bisa dijadikan solusi untuk kendala-kendala yang dihadapi.

Cognitive radio adalah sebuah sistem radio cerdas yang mampu beradaptasi dengan cepat terhadap lingkungannya. Teknologi ini mampu membaca kehadiran spektrum frekuensi dan sinyal PU di suatu area sehingga SU dapat segera menghentikan transmisi datanya. Apabila ditemukan spektrum *hole* maka spektrum tersebut dapat digunakan oleh SU untuk transmisi data dengan terlebih dahulu menyesuaikan kualitas layanan. Dengan demikian, *cognitive radio* layak dikembangkan sebagai jawaban dari salah satu persoalan transmisi.

2. Dasar Analisis Diskriminan dan *Weighted Least Square*

2.1 Sinyal Multisine

Merupakan penjumlahan dari beberapa sinyal sinusoidal dan memiliki persamaan berikut:

$$x(t) = \sum_{n=1}^N A_n \cos(2\pi f_n t + \phi_n) \quad (1)$$

A menyatakan amplituda sinyal, ϕ_n adalah fase sinyal ke- n , N adalah jumlah gelombang sinusoidal yang dibangkitkan, dan f_n dengan f_1 adalah frekuensi awal *tone* pertama dan Δf adalah beda frekuensi konstan.

2.2 Analisis Diskriminan

Analisis diskriminan adalah teknik statistik yang mempelajari cara perhitungan untuk membedakan antara dua kelompok atau lebih menggunakan fungsi klasifikasi dan diskriminan. Diperlukan sejumlah sampel data yang bisa dijadikan karakteristik dari masing-masing grup/kelompok dan karakter tersebut akan disebut sebagai variabel diskriminan. Oleh dari itu, analisis diskriminan bisa digunakan sebagai metode *spectrum sensing* untuk memisahkan antara sinyal dan *noise*.

Penerapan prinsip diskriminan pada tahapan *spectrum sensing* memiliki beberapa kelebihan antara lain kompleksitas yang rendah; tidak memerlukan informasi awal mengenai PU seperti *signal feature*, jumlah *transmitter* PU, dan lain-lain; mampu memberikan estimasi rata-rata magnituda sinyal dan *noise power*; dan probabilitas kesalahan klasifikasi antara sinyal dan *noise* akan dihitung di setiap *line* yang terdeteksi.

Merujuk pada filosofi diskriminan maka pada *spectrum sensing*, data yang akan dipisahkan adalah antara *frequency lines* yang terdiri dari *noise* saja dan yang terdiri dari sinyal saja. Untuk memecahkan masalah ini, diambil sebuah pendekatan melalui dua buah variabel yaitu μ_s dan μ_n . Kedua variabel tersebut berturut-turut menyatakan kelompok frekuensi yang terdiri dari *signal lines* dan *noise lines*. Melalui asumsi fungsi *Fisher's quadratic discriminant*, didapat sebuah solusi dengan persamaan berikut:

$$\frac{(\mu_s - \mu_n)^2}{\sigma_s^2 + \sigma_n^2} > \ln \left(\frac{P_s}{P_n} \right) \quad (2)$$

Keterangan:

- menyatakan tinggi diskriminan (*threshold*) yang memisahkan antara sinyal dan *noise*
- μ_s dan μ_n berturut-turut menyatakan jumlah *lines* yang terdeteksi sebagai sinyal dan *noise*
- σ_s^2 dan σ_n^2 masing-masing menyatakan nilai rata-rata amplituda dari *spectral lines* yang tergolong sinyal dan *noise*.

2.3 Weighted Least Square

Least Square merupakan salah satu bentuk aproksimasi untuk *curve fitting*. Pembahasan hanya dilakukan pada metode *Weighted Least Square* (WLS) yang pada prinsipnya memperhitungkan bobot error yang terkecil untuk mendapatkan model parametric. Persamaanya adalah sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^N [w_i (y_i - \hat{y}_i)^2] \quad (3)$$

dimana: \hat{y}_i adalah hasil nilai prediksi/variabel prakiraan dari y_i yang merupakan variabel responnya. Disamping itu untuk menghitung nilai *weight* dapat menggunakan cara di bawah ini:

$$w_i = \frac{1}{\sigma_i^2} \quad (4)$$

dengan σ_i^2 adalah satuan nilai yang mengontrol lebar dari *weight function*.

3. Pemodelan dan Simulasi Sistem

3.1 Skenario Pembangkitan Sinyal

Asumsikan $x(t)$ merupakan sebuah sinyal kontinu dan tersusun oleh persamaan:

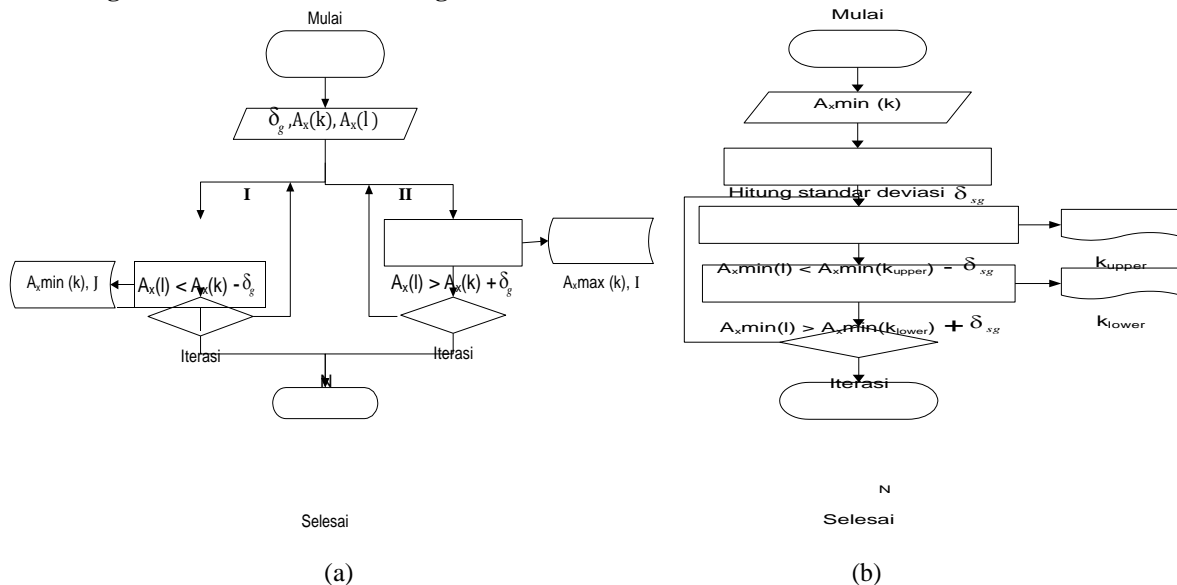
$$x(t) = s(t) + n(t) \quad (5)$$

dimana $s(t)$: sinyal multisinus acak $n(t)$: *noise* dengan *power spectral density* $S(n)$ dan variansi σ^2 tertentu. Secara lengkap pembangkitan sinyal dapat dibuat kedalam diagram alir berikut:

Sinyal kontinu $x(t)$ yang telah melewati proses FFT menjadi $X(f)$ sehingga amplituda sinyal $|X(f)|$ dan diasumsikan terdistribusi secara *Rice distribution* sehingga memenuhi persamaan berikut:

$$|X(f)|^2 \sim \chi^2_2 \quad (6)$$

3.2 Algoritma Deteksi Awal dan Segmentasi

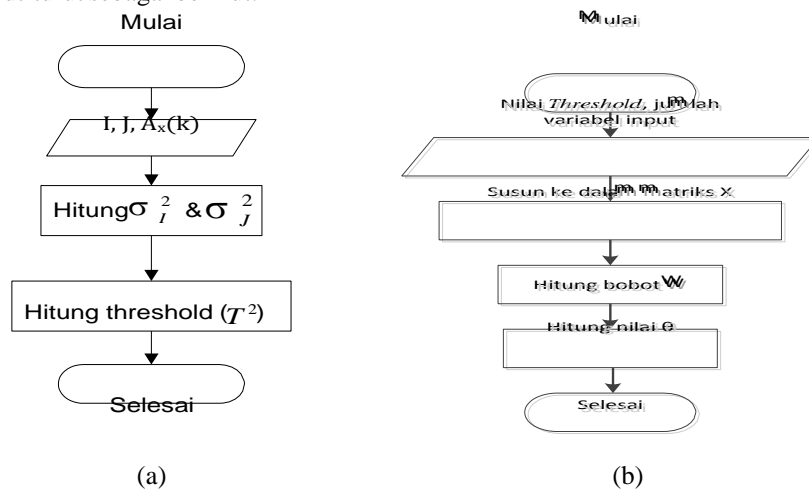


Gambar 2 (a) Proses Deteksi Awal dan (b) Proses Segmentasi Spektrum

Gambar 2(a), adalah proses deteksi awal dimana: (1) amplituda $frequency$ line yang sedang diobservasi, $frequency$ line, kemudian, algoritma $segmentation$ dengan cara membagi menjadi beberapa segmen dengan aturan di Gambar 2(b).

3.3 Metode Diskriminan dan Weighted Least Square

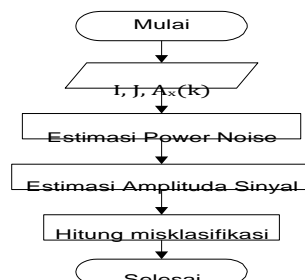
Metode diskriminan diterapkan di tiap segmen untuk mendapatkan nilai *threshold* pada masing-masing segmen dan setelah itu diikuti proses *curve fitting*. Langkah kedua proses tersebut tersaji pada gambar 3(a) dan 3(b) secara berturut-turut sebagai berikut:



Gambar 3 (a) Tahapan Metode Diskriminan dan (b) Tahapan Curve Fitting

3.4 Validasi Probabilitas

Bertujuan untuk menghitung probabilitas kebenaran proses *spectrum sensing* dalam diagram alir berikut:



Gambar 4 Tahapan Validasi Probailitas

Melalui asumsi bahwa spektrum *noise* adalah *white noise* maka estimasi rata-rata *noise power* pada *frequency line* (tergolong *noise*) dirumuskan sebagai berikut:

$$\hat{f}_{\text{max}} = \sum_{i=1}^N (f_i) \quad (7)$$

sedangkan untuk perhitungan estimasi rata-rata amplituda sinyal pada *frequency line* dengan rumus:

$$\hat{f}_{\text{max}} = \sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i)^2} \quad (8)$$

Dalam perhitungan probabilitas misklasifikasi tersebut digunakan konsep distribusi Rice dimana amplituda sinyal yang diasumsikan terdistribusi secara Rice seperti dijelaskan pada sebelumnya. Saat *spectral lines* yang terdeteksi digolongkan sebagai *signal line* yang sebenarnya *noise line* atau sebaliknya, maka terjadi misklasifikasi dan nilai probabilitas misklasifikasi dapat dihitung secara berturut-turut dengan persamaan berikut:

$$P_{\text{misklasifikasi}} = \left\{ \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{N} \right) \right\} \quad (9)$$

dimana merupakan fungsi distribusi kumulatif dari distribusi Rice^[4].

Perhitungan probabilitas misklasifikasi bertujuan untuk memastikan nilai kemungkinan terjadinya *error* saat mengklasifikasikan tiap *frequency line* terdeteksi ke dalam *signal line* atau *noise line* bernilai dibawah 50% atau tidak. Hal ini merupakan sebuah syarat yang menunjukkan algoritma yang dijalankan sudah teruji benar mampu memisahkan sinyal dari *noise* saat *spectrum sensing*. Bila hasilnya tidak memenuhi syarat maka harus dilakukan proses *regrouping* ulang dimulai dari pembagian spektrum kedalam masing-masing segmen atau yang disebut segmentasi spektrum pada Gambar 1.

4. Hasil Analisis

4.1 Spectrum Sensing

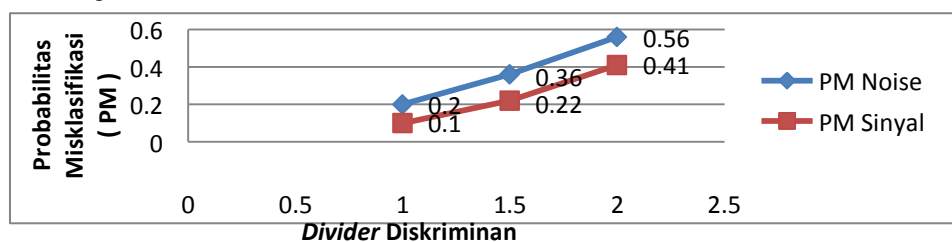
Metode diskriminan pada 2.2 dimodifikasi dengan suatu *divider* (pembagi) yang berfungsi untuk menaikkan posisi garis diskriminan sehingga perbedaan antara sinyal dan *noise* semakin jelas pada masing-masing segmen berdasarkan persamaan berikut:

$$T = \frac{(1)}{(2)} \quad (10)$$

dimana $T = 1$ adalah tinggi diskriminan (*threshold*) setelah diberi *divider*; N adalah nilai *divider* yang digunakan. *Suatu* berarti sama saja dengan tinggi diskriminan asli yang tanpa menggunakan *divider*, dan menyatakan menyatakan tinggi diskriminan (*threshold*) asli

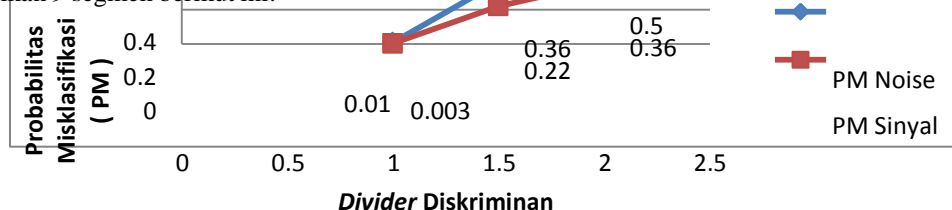
4.2 Analisis Keluaran Proses Spectrum Sensing pada SNR > -5dB

Diujikan pada SNR = 0dB dan -3dB. Pemilihan *user-defined values* $\delta_g = 17,39$ dan $\delta_{sg} = 3,18$ menghasilkan 9 segmen untuk SNR = 0dB.

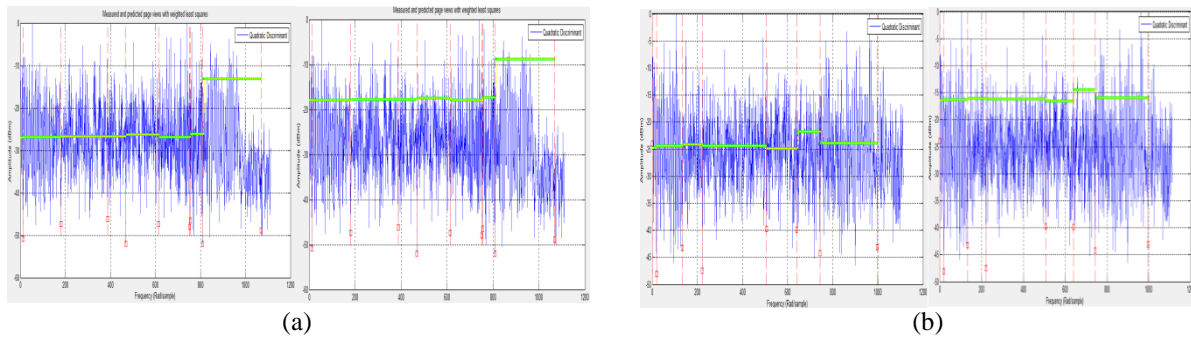


Gambar 5 Grafik Probabilitas Misklasifikasi (PM) terhadap *Divider* Diskriminan pada SNR = 0dB

Untuk hasil SNR = -3dB dijelaskan pada Gambar 6 menurut pemilihan $\delta_g = 14,43$ dan $\delta_{sg} = 2,6$ yang menghasilkan 9 segmen berikut ini:



Gambar 6 Grafik Probabilitas Misklasifikasi (PM) terhadap *Divider* Diskriminan pada SNR = -3dB

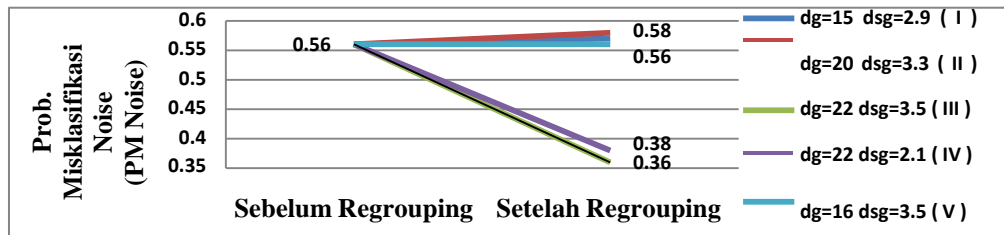


Gambar 7 Tampilan Deteksi Sinyal dan Noise pada (a) SNR = 0dB dan (b) SNR = -3dB dengan Tinggi Diskriminan Asli dan Divider Diskriminan = 1,5

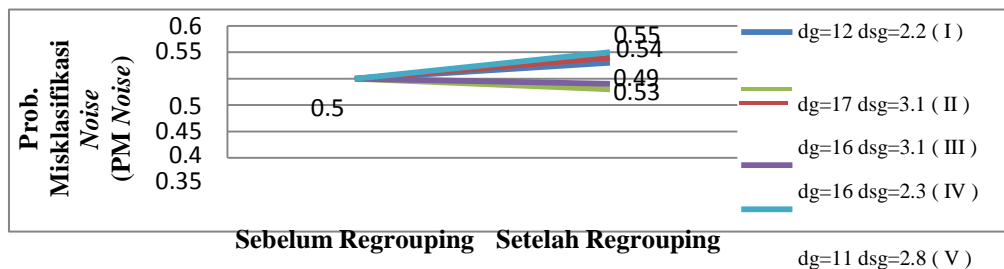
Hasil *spectrum sensing* pada Gambar 7 sudah mampu memisahkan *signal* dan *noise* dengan valid namun belum menampilkan spektrum kosong dengan jelas. Oleh karena itu, dilakukan pengujian dengan *divider* = 2 agar hasil *spectrum sensing* menunjukkan spektrum frekuensi kosong secara lebih jelas. Pada penggunaan *divider* = 2, nilai probabilitas misklasifikasi *noise* berada diatas ambang batas yang ditetapkan yakni 0.5 sehingga solusinya adalah proses *regrouping* dengan pemilihan *user-defined values* secara manual.

4.3 Analisis Proses *Regrouping* pada SNR > -5dB

Pemilihan *user-defined values* dilakukan dalam 5 skenario pengujian yaitu pengujian I kedua nilainya diatur lebih kecil dari sebelumnya; pengujian II dan III kedua nilainya diatas nilai sebelumnya; pengujian IV nilai lebih tinggi (naik) dan lebih kecil (turun) dibanding nilai sebelumnya; dan pengujian V dengan nilai turun dan naik dibanding nilai sebelumnya.

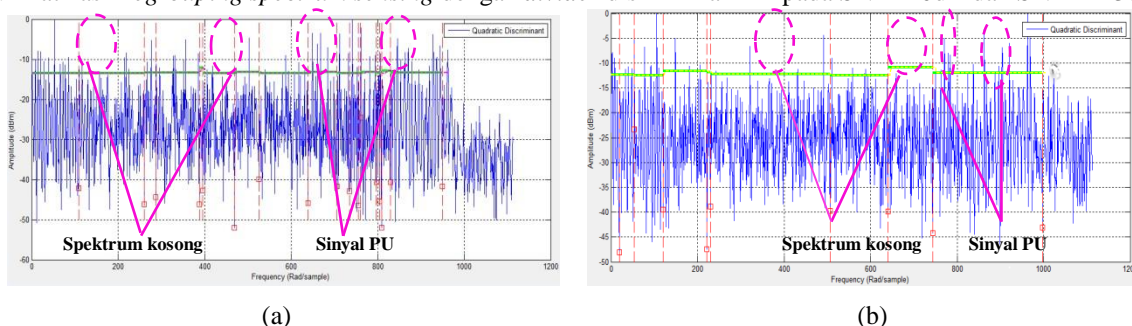


Gambar 8 Grafik PM Noise terhadap Beberapa User-Defined Values pada SNR = 0dB



Gambar 9 Grafik PM Noise terhadap Beberapa User-Defined Values pada SNR = -3dB

Pada Gambar 8 dan 9 terlihat bahwa probabilitas misklasifikasi meningkat ketika mengikuti skenario I, II, dan V. Untuk skenario III dan IV probabilitas misklasifikasi menurun. Akan tetapi dipilih skenario IV karena jangkauan sensing lebih jauh dari III. Dengan demikian disimpulkan bahwa *regrouping* SNR > -5dB harus dengan menaikkan nilai dan menurunkan nilai. Pada Gambar 10 berikut ini dapat dilihat hasil *regrouping spectrum sensing* dengan *divider* diskriminan = 2 pada SNR = 0dB dan SNR = -3dB.



Gambar 10 *Regrouping* pada Divider Diskriminan = 2 pada (a) SNR = 0dB dan (b) SNR = -3dB.

Hasil *regrouping spectrum sensing* pada SNR = 0dB dan -3 dB diatas disajikan dalam Tabel 1 berikut:

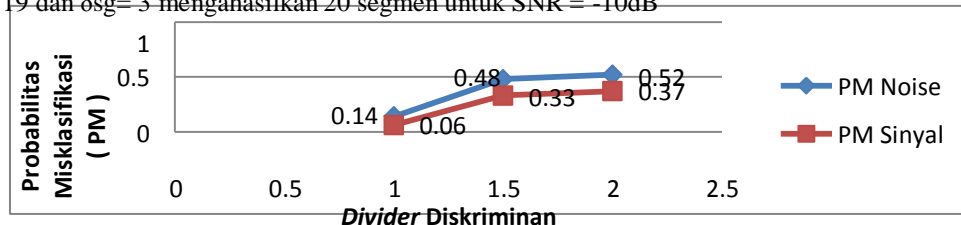
Tabel 1 Hasil *Regrouping* SNR = 0dB dan -3dB dengan *Divider* Diskriminan = 2

SNR (dB)	Spectrum Sensing (rad/sample)	Jumlah Segmen	Jumlah Line Terdeteksi dengan PM = 0 (minimum)		PM Maksimum Sinyal	Rata-rata	
			Sinyal	Noise		Amplituda Sinyal (dBm)	Power Noise (dBm)
0	0 - 966	17	202	96	0,24	3,2	91,51
-3	0 - 1005	9	205	95	0,35	6,0	71,98

Sisa spektrum frekuensi yang tidak tersegmentasi dipertimbangkan oleh nilai rata-rata amplituda sinyal kedua SNR diatas yang masih jauh diatas rata-rata titik puncak sisa spektrum frekuensi yang tidak tersegmentasi. Dengan demikian, spektrum tersebut dikategorikan *noise* artinya spektrum kosong dan bisa digunakan oleh SU. Disamping itu, hasil analisis *spectrum sensing* SNR >-5dB menunjukkan bahwa kondisi *divider* = 2 adalah kondisi terbaik dalam melakukan *spectrum sensing* dengan metode diskriminan.

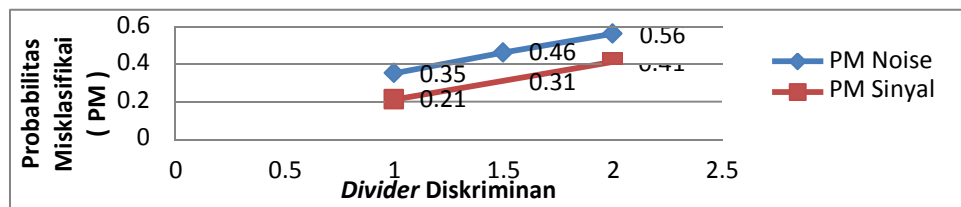
4.4 Analisis Keluaran Proses *Spectrum Sensing* pada SNR < -5dB

Pada simulasi dengan nilai SNR diatas -5dB, dipilih nilai SNR = 0dB dan -3dB. Pemilihan *user-defined values* $\delta g = 19$ dan $\delta sg = 3$ menghasilkan 20 segmen untuk SNR = -10dB

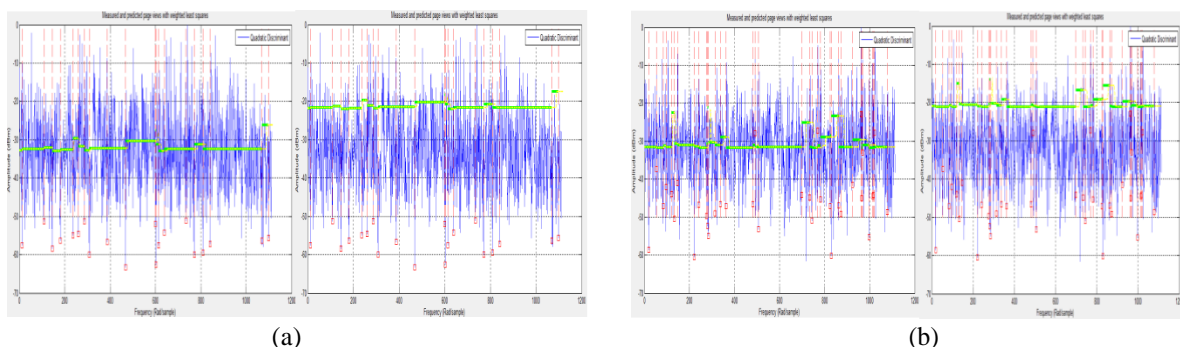


Gambar 11 Grafik Probabilitas Misklasifikasi (PM) terhadap *Divider* Diskriminan pada SNR= -10dB

Hasil SNR = -20dB dijelaskan pada Gambar 12 dimana $\delta g = 19$ dan $\delta sg = 2$ dan menghasilkan 30 segmen.



Gambar 12 Grafik Probabilitas Misklasifikasi (PM) terhadap *Divider* Diskriminan pada SNR= -20dB

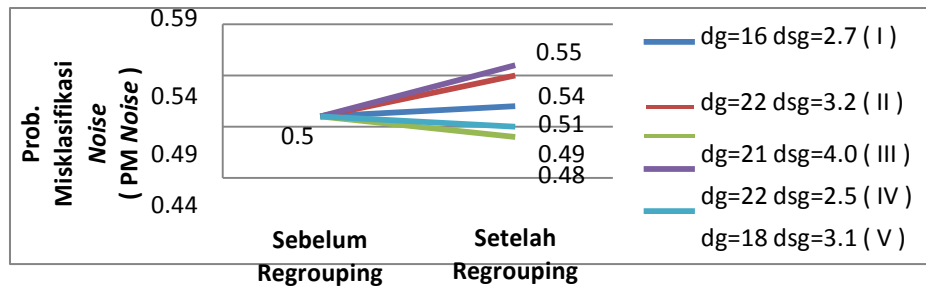


Gambar 13 Tampilan Deteksi Sinyal dan *Noise* pada (a) SNR = -10dB dan (b) SNR = -20dB dengan Tinggi Diskriminan Asli dan *Divider* Diskriminan =1,5

Hasil *spectrum sensing* pada SNR < -5dB juga valid untuk untuk diskriminan asli maupun dengan *divider* = 1,5. Namun, perbedaan hadirnya sinyal PU atau spektrum kosong belum jelas terlihat pada Gambar 12. Oleh karena digunakan *divider* =2 namun dengan solusi *regrouping* untuk mengatasi masalah validasi.

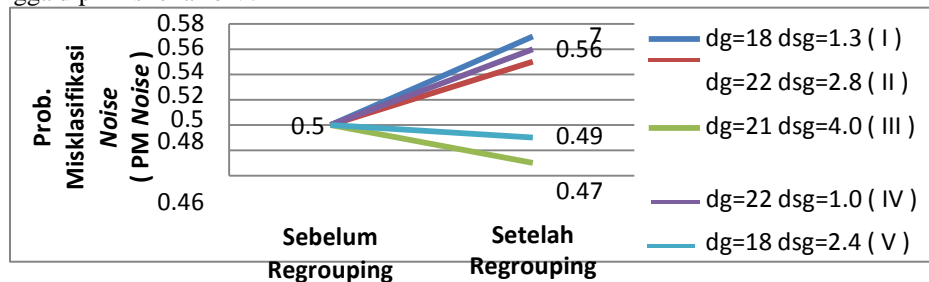
4.5 Analisis Proses *Regrouping* pada SNR < -5dB

Pemilihan *user-defined values* juga dilakukan dalam 5 skenario dengan langkah pengujian yang sama seperti pada 4.3. Data hasil pengujian tersebut ditampilkan pada Gambar 14 untuk SNR = -10dB sedangkan untuk SNR = -20dB ditampilkan pada Gambar 15.



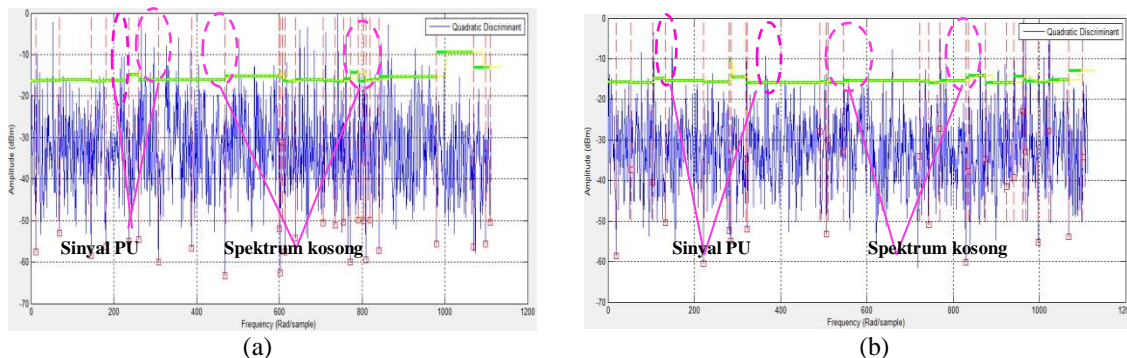
Gambar 14 Grafik PM Noise terhadap Beberapa *User-Defined Values* pada SNR = -10dB

Pada Gambar 14 dan 15, hanya skenario III dan V yang memberikan nilai probabilitas menurun sedangkan skenario lain memberikan hasil yang semakin buruk. Akan tetapi jangkauan sensing skenario III pendek sehingga dipilih skenario V.



Gambar 15 Grafik PM Noise terhadap Beberapa *User-Defined Values* pada SNR = -20dB

Oleh karena itu ditetapkan bahwa *regrouping* SNR < -5dB harus dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan . Gambar 16 merupakan contoh beberapa spektrum kosong dan sinyal PU yang berhasil ditemukan lewat *spectrum sensing*. Spektrum itulah yang nantinya dimanfaatkan oleh SU untuk mentransmisikan data. Sedangkan, untuk hasil *regrouping*, probabilitas misklasifikasi *signal* serta jumlah *signal lines* yang terdeteksi di SNR < -5dB dengan *divider* diskriminan = 2 terdapat pada Tabel 4.2



Gambar 16 Hasil *Regrouping Spectrum Sensing* dengan *Divider* diskriminan = 2 pada (a) SNR = -10dB dan (b) SNR = -20dB

Tabel 4.2 Hasil *Regrouping* SNR = -10dB dan -20dB dengan *Divider* Diskriminan=2

SNR (dB)	Spectrum Sensing (rad/sample)	Jumlah Segmen	Jumlah Line Terdeteksi dengan PM = 0 (minimum)		PM Maksimum Sinyal	Rata-rata	
			Sinyal	Noise		Amplituda Sinyal (dBm)	Power Noise (dBm)
-10	0 - 1094	27	227	116	0,35	6,8	95,56
-20	0 - 1112	27	248	124	0,35	6,9	92,20

Berdasarkan Tabel 4.2 jumlah segmen yang dibutuhkan cukup banyak mencapai 27 segmen. Jumlah ini lebih banyak dibandingkan jumlah segmen pada saat SNR > -5dB. Lebih lanjut, segmentasi mengambil titik-titik deteksi awal *signal* dan *noise contributions* untuk dijadikan acuan batas tiap segmen. Semakin kecil nilai

berarti semakin banyak titik deteksi awal dan sebaliknya. *Regrouping* SNR < -5dB memilih nilai yang lebih kecil dibanding nilai saat SNR > -5dB maka jumlah segmen bertambah lebih banyak khususnya berguna untuk mendeteksi sinyal-sinyal PU saat *spectrum sensing* pada kondisi *low* SNR seperti pada simulasi ini. Berdasarkan analisis diperoleh kesimpulan SNR < -5dB dengan *divider* = 2 adalah kondisi terbaik dan paling disarankan untuk *spectrum sensing*.

5. Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi serta analisis yang telah dijelaskan sebelumnya, maka penulis mengambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Metode diskriminan mampu menjadi alternatif baru dalam *spectrum sensing* yang hanya bermodal informasi sederhana berupa amplituda (↻) spektrum frekuensi terukur untuk kemudian dibedakan menurut karakteristik masing-masing kedalam *signal* atau *noise* menggunakan garis diskriminan.
2. Pemilihan teknik WLS dengan nilai = 1 sangat cocok digunakan sebagai gambaran visual keseluruhan spektrum frekuensi saat *spectrum sensing*. Hal ini disebabkan oleh bentuk kurva mengikuti pola garis diskriminan sehingga nilai probabilitas misklasifikasi yang dihasilkan sama dengan yang dihasilkan oleh garis diskriminan.
3. Jumlah segmen yang dibutuhkan untuk SNR = -10dB dan -20dB lebih banyak dibanding SNR= 0dB dan -3dB karena semakin rendah nilai SNR maka semakin banyak pula *signal* yang tersembunyi didalam *noise* sehingga dibutuhkan segmentasi dengan jumlah segmen yang lebih banyak.
4. Berdasarkan ketiga pengujian tinggi diskriminan yang dilakukan, *divider* diskriminan = 2 merupakan kondisi terbaik untuk digunakan dalam *spectrum sensing*.
5. Penerapan *regrouping* digunakan saat nilai *divider* diskriminan > 1.5 tepatnya nilai *divider* = 2 karena tingginya probabilitas misklasifikasi sinyal dan *noise* sebab letak tinggi diskriminan yang memisahkan keduanya jauh dari tinggi idealnya (tinggi diskriminan asli).
6. Dalam proses *regrouping* terbukti bahwa pertimbangan dalam memilih *user-defined values* sangat berperan khususnya saat nilai naik maka harus turun dan sebaliknya

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya, penulis menyarankan beberapa hal yaitu:

1. Proses *spectrum sensing* dengan metode diskriminan perlu diuji dengan pengukuran langsung yang menggunakan *signal generator* serta *signal analyzer*
2. Perlu dikembangkan rumusan awal untuk menetapkan *user-defined value* untuk SNR < -5dB seperti halnya saat SNR > -5dB.
3. Perlu dikembangkan teknik lain untuk menaikkan posisi garis diskriminan selain menggunakan teknik *divider* diskriminan namun tetap mempertahankan nilai probabilitas misklasifikasi yang dibawah 50%.
4. Perlu disimulasikan kualitas metode diskriminan pada kanal yang secara langsung memperhitungkan *loss* dan *fading* didalamnya.
5. Penggunaan teknik *curve fitting* lain seperti polinomial orthogonal bisa disimulasikan pada penelitian selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Doyle, Linda E. (2009). *Essentials of Cognitive Radio*. United States of America: Cambridge University Press.
- [2] Barbé K. dan Wendy V. M. *Automatic Detection, Estimation, and Validation of Harmonic Components in Measured Spectra: All-in-One Approach*. IEEE Transaction On Instrumentation and Measurement Technology Vol.60, No.1 March 2011
- [3] Carvalho, Nuno B. et al. (2008). *Application Notes: Multisine Signals for Wireless System Test and Design*. IEEE Microwave Magazine
- [4] Fuentes, Lee Gonzales. (2012). *Helping Cognitive Radio in The Find of Free Space*. Swedia: University of G vle.
- [5] Lauwers L. , Barbé, K. et al. (2009). *Estimating The Parameters of A Rice Distribution: A Bayesian Approach*. IEEE Transaction On Instrumentation and Measurement Technology May 2009
- [6] *Matlab Curve Fitting Toolbox*. (2009). *Least-Squares Fitting*. United States of America: MathWorks
- [7] [Online] Tersedia: <http://www.dsplog.com/2012/02/05/weighted-least-squares-and-locally-weighted-linear-regression/>. [31 Maret 2014]
- [8] [Online] Tersedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Curve_fitting. [8 November 2013]
- [9] [Online] Tersedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Cognitive_radio. [29 Agustus 2013]